

роэнергетики: сб. науч. трудов / Под ред. Е.М. Зайца. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – С. 24-41.

4. Корко, В.С. Повышение эффективности процессов переработки и контроля влагосодержания злаков электрофизическими методами: монография / В.С. Корко. – Мн.: БГАТУ, 2006. – 349с.

5. Баран, А.Н. Основы электробиотехнологии кормов / Л.С. Герасимович [и др.] // Вопросы агроэнергетики: сб. науч. трудов / Под ред. Е.М. Зайца. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – С.78-92.

6. Заяц, Е.М. Электротермохимическая обработка органических гидросистем / Е.М. Заяц, М.М. Ни-

колаенок // Теория и практика машиностроения, 2003, №2. – С. 44-46.

7. Engel, M.B., Pumper, R.W., Joseph, N.R. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med., 128, 4, 990, 1968.

8. Заяц, А.Е. Модель электролитической активации продуцента кормовых дрожжей / А.Е. Заяц. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М.: 2006, №8. – С. 13-16.

9. Заяц, Я.М. Да пытання электракагуляцыі бялкоу бульбянога соку / Я.М. Заяц, І.Б. Юшанка // Весці акадэміі аграрных навук Беларусі, 1994, №3. –С. 118- 119.

УДК 620.91 + 621.311.2

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.03.2009

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА НА СОСТАВ ВЫБРАСЫВАЕМЫХ В АТМОСФЕРУ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

**Ю.С. Почанин, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ)**

### **Аннотация**

*Дана характеристика выбросов вредных веществ, образующихся при сгорании местных видов топлива, описаны мероприятия по их минимизации, приведены допустимые количества выбросов, принятые в странах Западной Европы.*

### **Введение**

В Республике Беларусь имеется свыше 10 тысяч котельных, которые вырабатывают или перерабатывают тепло для районных отопительных систем, причем большинство из них (96%) работает на мазуте, дизельном топливе, природном газе и угле, и только незначительное количество (4%) – на торфе и древесном топливе. Большинство энергоносителей (около 85%) в нашей стране импортируется, и в целях энергетической безопасности Республики Беларусь приходится искать пути уменьшения их относительной доли в общем энергобалансе. Мировой опыт показывает, что в подобной ситуации, с одной стороны, должны внедряться энергосберегающие технологии, оборудование и т.п., обеспечивающие меньшее удельное потребление энергоресурсов, а с другой стороны – должны более широко использоваться возобновляемые источники энергии и местные виды топлива. Основными местными видами топлива в республике являются древесная щепа, торф, солома и др., т.е. древесно-растительная масса (биомасса).

Использование местных видов топлива для получения тепловой и электрической энергии оказывает влияние на окружающую среду, так как при сгорании они выделяют вредные вещества. Теплоэнергетические и экологические свойства местных видов топлива определяются рядом характеристик, таких как теплота сгорания, химический состав, влажность, твердость, количество летучих веществ, содержание и

состав золы, количество загрязняющих веществ. Местные виды топлива по своей теплотворной способности и выделению вредных веществ существенно отличаются от ископаемых видов топлива. Сравнительные характеристики различных видов топлива представлены в табл. 1 [1].

На основании данных, приведенных в табл. 1, видно, что каменный уголь, мазут, природный газ и торф, имеющие широкое применение в народном хозяйстве страны, выделяют большое количество углекислого газа и с экологической точки зрения менее предпочтительны по сравнению с древесным топливом и соломой.

**Таблица 1. Сравнительные  
характеристики различных  
видов топлива**

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг	% серы	% золы	Углекислый газ, кг/ГДж
Каменный уголь	15-35	1-3	1	60
Мазут	42	1,2	1,5	78
Щепа древесная	10	0	2	0
Гранулы древесные	17,5	0,1	1	0
Торф	10	0	20	70
Солома	14,5	0,2	4	0
Природный газ	35-38 МДж/куб. м	0	0	57

Данные приблизительные и колеблются в зависимости от топлива.

Интенсивность горения топлива зависит от его химического содержания, соотношения летучих газообразных компонентов и твердого углерода. В табл. 2 представлен химический состав соломы и древесной щепы [1].

**Таблица 2. Химический состав соломы и древесной щепы**

Химический состав, весовой - % в сухом виде		Солома	Древесная щепка
Зола		4,5	1,0
Летучие вещества		75-81	81
Водород		5,9	5,8
Углерод	C	47,5	50
Азот	N	0,3-1,5	0,3
Сера	S	0,15	0,05
Хлор	a	0,4	0,02
Кремний	Si	0,8	0
Алюминий	Al	0,005	0
Железо	Fe	0,01	0,015
Кальций	Ca	0,4	0,2
Магний	Mg	0,07	0,04
Натрий	Na	0,05	0,015
Калий	K	1,0	0
Фосфор	P	0,08	0,02
Влагосодержание, %		10 -25	50 – 60

По составу и теплотворной способности древесина, солома и другие травянистые виды топлива (торф, костра и др.) в спрессованном и высушенном виде приблизительно одинаковы, горючими составляющими у которых, в основном, являются углерод и водород. Индивидуальные отличия тех или иных видов биотоплива заключаются в различном процентном содержании влаги, в способе получения, продолжительности хранения, подверженности естественной или искусственной сушке. Торф, как ископаемое, существенно отличается от остальных видов топлива (древесина, травянистые растения) повышенным содержанием сернистых веществ и высокой зольностью.

#### Основная часть

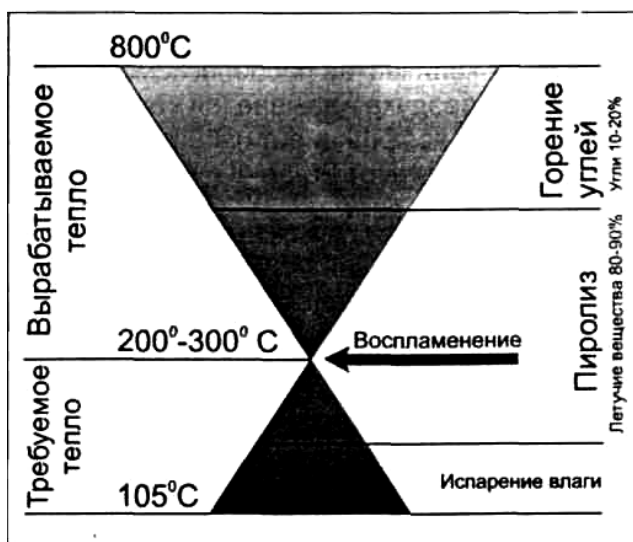
Процесс сжигания местных видов топлива при смешивании с воздухом состоит из нескольких этапов. На рис.1 представлена диаграмма горения древесины и выделения тепла [2].

Как показано на рис.1, на первом этапе требуется дополнительное тепло для испарения влаги, высушивания и воспламенения топлива. При температуре свыше 100 °С начинается процесс пиролиза, при котором летучие вещества углеводородных соединений начинают испаряться.

В интервале 200-300 °С происходит воспламенение твердого топлива. Сухая солома воспламеняется при температуре около 200 °С, сухой торф – при температуре 225 – 280 °С, сухая древесина – 220- 300 °С.

При температуре 500-600 °С начинается процесс горения летучих компонентов, содержание которых в горючем веществе составляет около 75%. В интервале 800-900 °С происходит сгорание твердого углерода и смолы, образующиеся при этом дымогарные газы, дожигаются в камере с подачей воздуха (газогенераторный процесс). При этом дополнительное выделение тепла повышает температуру газов до 1000-1100 °С. В полученной газо-воздушной смеси сгорают токсичные образования, тяжелые соединения и частицы сажи.

Количество и разнообразие выбросов вредных веществ в атмосферу при использовании местных видов топлива зависит от применяемой технологии сжигания топлива и от качества самого топлива. В зависимости от технологии, сгорание топлива может быть полным и неполным. При полном сгорании происходит выброс двуокси углерода (CO<sub>2</sub>), окислов азота (NO и NO<sub>2</sub>) и серы (SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub>), хлористого водорода (HCl), частиц и тяжелых металлов. Неполное сгорание топлива происходит при неправильном смешении воздуха и топлива в топочной камере, в результате чего образуются локальные зоны с недостатком воздуха, недостаточным количеством кислорода, низкой температурой горения, недостаточным временем пребывания топлива в зоне горения. При неполном сгорании топлива происходят образования и выбросы моноокси углерода (CO), несгоревшие углеводороды (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> - метан (CH<sub>4</sub>) и неметановые летучие органические соединения), частицы, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), поли-



**Горение древесины и выделение тепла**

Рисунок 1. Диаграмма горения топлива и выделения тепла

хлорированные диоксины и фураны (ПХДД/Ф), аммиак (NH<sub>3</sub>).

Все загрязняющие вещества, образующиеся при сжигании биомассы, воздействуют на климат, окружающую среду и здоровье человека. Воздействие на климат и окружающую среду оказывают CO<sub>2</sub> – газ прямого парникового действия и CO, CH<sub>4</sub> – газы непрямого парникового действия, которые воздействуют через образование озона. ПАУ, окислы азота (NO<sub>x</sub> = NO и NO<sub>2</sub>), аммиак (NH<sub>3</sub>), окислы серы (SO<sub>x</sub> = SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub>), хлористый водород (HCl) – способствуют образованию кислотных осадков, смога, вызывают ослабление и гибель растений, коррозионное повреждение материалов. Сажа, уголь и конденсат тяжелых углеводородов (деготь), образующиеся при неполном сгорании всех видов топливной биомассы, а также зольная пыль и соли отрицательно воздействуют на систему органов дыхания человека. Диоксины и фураны высокотоксичны, они наносят повреждения печени и центральной нервной системе, отрицательно влияют на иммунитет, накапливаются в пищевой цепи [3].

Все выбросы, образующиеся в результате сгорания топлива, можно подразделить на выбросы, характеристики которых определяются технологией сжигания топлива и условиями технологического процесса, и выбросы, характеристики которых определяются свойствами топлива. Диапазон выбросов (мг/м<sup>3</sup> при 11% O<sub>2</sub>), определяющихся, в основном, технологией сжигания топлива и условиями технологического процесса, довольно велик: CO (20 – 5000); C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> (10 -500); ПАУ (0,01 – 10); частицы (50 -500), а свойствами топлива – значительно меньше: NO<sub>x</sub> – древесина (100-200); солома, трава (150-250); древесные отходы (300-800).

В Австрии [4] проведены исследования по оценке уровней выбросов различных установок, работающих на биомассе, мощностью от 0,5 до 10 МВт, использующих в качестве топлива ДСП, древесную щепу (табл. 3).

**Таблица 3. Уровни выбросов установок 0,5-10 МВт**

Компонент	Выбросы (мг/м <sup>3</sup> при 11% O <sub>2</sub> )	Кол-во измерений
CO	125-000	25
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	5.0-2.5	25
ПАУ	0,00006-0,06	4
Бензо[а]пирен	5·10 <sup>-6</sup> -1,0·10 <sup>-3</sup>	4
NO <sub>x</sub> (в форме NO <sub>2</sub> )	162-337	22
Частицы	37-312	29
SO <sub>2</sub>	19-75	17
Cl	1-10	12
F	0,25	18

Количество выбросов SO<sub>2</sub>, Cl и F обусловлено содержанием в топливе этих компонентов. Выбросы C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, ПАУ и бензо[а]пирена можно также снизить посредством дальнейшей оптимизации процесса сжи-

гания топлива. Данные исследования свидетельствуют об относительно высоком уровне выбросов CO, в особенности на некоторых установках, предназначенных для сжигания биомассы. Количество выбросов вредных веществ при сжигании биомассы, в разных странах выражается в различных единицах, что затрудняет их сравнение. В опубликованной работе [5] приводятся данные о допустимых уровнях выбросов установок ТЭЦ в ряде стран (табл. 4).

**Таблица 4. Допустимые уровни выбросов установок, работающих на местных видах топлива**

Страна		Австрия	Финляндия	Швеция
Топливо		Древесная биомасса	Древесная биомасса, солома, торф	Древесная биомасса
Параметр	Мощность, МВт	мг/м <sup>3</sup> при 11% O <sub>2</sub>	мг/м <sup>3</sup> при 11% O <sub>2</sub>	мг/м <sup>3</sup> при 11% O <sub>2</sub>
Пыль	< 0,12	150	-	350
	0,12 - 1	150	-	100
	1 - 2	150	265	100
	2 - 10	50	265	100
	> 10	50	150	35
CO	< 0,12	250	-	-
	0,12 - 1	250	-	-
	1 - 5	250	-	250 - 500
	>5	100	-	250 - 500
	NO <sub>x</sub>	0,1 - 5	250	-
	5 - 10	250	-	200 - 300
	> 10	200	200	200
SO <sub>x</sub>	50-100	-	200 - 400	200
	> 100	-	200 - 400	200
Общий органический углерод	> 0,1	50	-	-

Технология сжигания местных видов топлива существенно влияет на уровень выбросов вредных веществ в атмосферу. Топки с колосниковыми решетками имеют относительно низкие эксплуатационные затраты по сравнению с другими технологиями сжигания топлива, но высокое содержание избыточного кислорода (5-8 объемных %) снижает полноту сгорания топлива и поэтому трудно обеспечить низкий уровень выбросов при работе с неполной нагрузкой. В двухкамерных топках недостаточно эффективный отвод теплоты из предварительной топки, и существует высокая чувствительность к шлакообразованию, иногда высокий уровень выбросов NO<sub>x</sub>. В топках с нижней подачей топлива при работе с частичной нагрузкой, благодаря эффективному дозированию топлива, обеспечи-

вается низкий уровень выбросов. Они пригодны только для сжигания биотоплива с низкой зольностью и высокой температурой точки плавления золы (древесное топливо), существуют ограничения по размеру фракций топлива. В топках с пылевым сжиганием обеспечивается низкое содержание избыточного кислорода (4-6 объемных %), за счет этого повышается КПД, а эффективная ступенчатая подача воздуха позволяет значительно снизить уровень выбросов  $\text{NO}_x$  при использовании циклона или вихревой форсунки.

Однако у них имеются некоторые недостатки: ограничены размеры частиц биотоплива (< 10-20 мм), высокий износ изоляционного кирпича при использовании циклона или вихревых форсунок, необходима дополнительная форсунка розжига.

Топки с кипящим псевдоожиженным слоем не имеют подвижных деталей в топочной камере, эффективно снижают уровень выбросов  $\text{NO}_x$  посредством ступенчатой подачи воздуха, имеют низкое содержание избыточного кислорода (3-4 объемных %), что повышает КПД и снижает объем топочного газа. Недостатком их являются высокие инвестиционные затраты. Данные топки представляют интерес только при использовании на установках мощностью > 20 МВт, у них значительно ограничены размеры частиц биотоплива (< 80 мм), имеется высокое содержание пыли в топочном газе. При работе с неполной нагрузкой требуется применение специальных технологий.

В отношении газообразных и твердых выбросов топки с пылевым сжиганием и кипящим псевдоожиженным слоем обеспечивают более низкий уровень выбросов  $\text{CO}$  и  $\text{NO}_x$  благодаря более однородным и, следовательно, более управляемым условиям сгорания топлива. В свою очередь, в топках с неподвижным слоем топлива образуется меньше частиц пыли и обеспечивается лучшее сгорание зольной пыли.

В табл. 5 приведены обобщенные данные о характеристиках тепловой мощности установок и требуемых характеристиках топлива, используемых в описанных технологиях сжигания биомассы.

Основными направлениями снижения выбросов вредных веществ при использовании местных видов топлива для получения тепловой и электрической энергии являются:

- подготовка местных видов топлива для сжигания в печном или отопительном оборудовании;
- оптимизация процесса горения;
- оптимальный выбор системы очистки топочного газа;
- утилизация тепла топочного газа.

К подготовке местных видов топлива для сжигания относятся следующие процедуры:

- изменение уровня влажности топлива;
- изменение размеров частиц топлива;
- выбор соответствующего оборудования для сжигания топлива.

**Таблица 5. Области применения различных технологий сжигания биомассы**

Вид топки	Мощность	Вид топлива	Зола	Влажность
Топка с нижней подачей топлива	20 кВт - 2.5 МВт	древесная щепа, древесные отходы	<2%	5%-50%
Двухкамерная топка	20 кВт - 1.5 МВт	сухая древесина (лесосечные отходы)	<5%	5%-35%
Топка с подвижной решеткой	150 кВт - 15 МВт	все виды древесного топлива; большая часть биомассы	<50%	5%-60%
Топка с нижней подачей топлива с вращающейся решеткой	2-5 МВт	древесная щепа с высокой влажностью	<50%	40%-65%
Топки с кипящим псевдоожиженным слоем (КПС)	5-15 МВт	различные виды биомассы, $d < 10$ мм	<50%	5%-60%
Топка с циркулирующим псевдоожиженным слоем (ЦПС)	15-100 МВт	различные виды биомассы, $d < 10$ мм	<50%	5%-60%
Топка для пылевого сжигания в потоке	5-10 МВт	различные виды биомассы, $d < 5$ мм	<5%	<20%

Большое влияние на топливные свойства оказывает влажность. Около 50-60% массы свежесрубленного дерева, 25-30% массы соломы и 25% торфа составляет вода. При сжигании местных видов топлива часть тепловой энергии уходит на испарение влаги. Высокая влажность топлива затрудняет получение достаточно высокой температуры в топочной камере. Часто требуется получить температуру более 850°C с тем, чтобы обеспечить достаточно низкий уровень выбросов  $\text{CO}$ . Для снижения влажности топлива рекомендуются использовать солнечные воздушные коллекторы, тепловые насосы, установки конденсации топочного газа, использующие возобновляемые источники энергии для подогрева воздуха и создания микроклимата в сушильном отделении. Подсушка топлива со снижением влажности с 50 до 30% (весовых) позволит повысить КПД установки до 10%. Если не имеется дешевого тепла, отбираемого из другого процесса, применение отдельной системы искусст-

венной сушки делает процесс слишком дорогостоящим и экономически невыгодным. Подсушивание биомассы в течение нескольких месяцев при открытом хранении с использованием естественной конвекции в большинстве случаев является экономически невыгодным, так как потери от биологического разложения (1-2 весовых % в месяц) превышают полученное повышение КПД.

Размер топливных частиц играет важную роль при выборе технологии сжигания топлива и может варьироваться от больших тюков (поленьев) до мелких опилок. Измельчитель или рубительная машина могут использоваться для уменьшения размера крупных частиц, таким образом, получают более однородный состав частиц, что позволяет использовать большее число технологий. Однако измельчение биомассы является целесообразным только в том случае, если выгода от выполнения этой операции превосходит дополнительные инвестиции и затраты на энергию.

Выбор конструкции оборудования позволяет создать стабильный газогенераторный режим для получения температуры дымогарных газов в пределах 1000-1100°C, позволяющий осуществить полное сгорание топлива.

Горение местных видов топлива представляет собой сложный процесс со многими переменными, которые прямо или косвенно воздействуют на уровни выбросов и эффективность использования энергии. К наиболее важным переменным характеристикам этого процесса (в основном, в применениях с использованием установок для сжигания биомассы большой мощности) относятся: теплопередача, теплообмен и аккумулирование теплоты, предварительный подогрев воздуха, коэффициент избытка воздуха, вида топлива, влажности, температуры горения, конструкции установки, ступенчатой подачи и распределения воздуха, подачи топлива и методов управления технологическим процессом.

При сжигании местных видов топлива в зарубежной практике используются три принципа: сжигание топлива в топке обычного типа, сжигание топлива со ступенчатой подачей воздуха, ступенчатое сжигание топлива. Сжигание топлива со ступенчатой подачей воздуха одновременно снижает уровни выбросов от неполного сгорания топлива и выбросов  $\text{NO}_x$  в результате разделения процессов выхода летучих веществ и горения в газовой фазе. Это повышает эффективность смешения топливного газа с воздухом горения.

Другими возможными методами снижения  $\text{NO}_x$  на установках, сжигающих биомассу, являются ступенчатое сжигание и дожиг топлива. Первичное топливо сжигается при коэффициенте избытка воздуха, превышающем 1, при этом не происходит значитель-

ного снижения  $\text{NO}_x$ . Затем в топочный газ за зоной первичного горения вводится вторичное топливо без подачи дополнительного воздуха.

Для обеспечения оптимального процесса горения с минимальными выбросами от неполного сгорания топлива необходимо обеспечить поддержание высокой температуры горения, достаточно длительного времени пребывания в зоне горения и оптимального смешения топливных газов с воздухом, и соответствующее регулирование этих параметров при изменении тепловой и/или электрической мощности. Эти функции выполняет система управления технологическим процессом. Постоянными параметрами технологического контроля являются концентрации  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$  и  $\text{O}_2$  в топочном газе, температура в топочной камере и температура теплоносителя, переменными параметрами – количество топлива, подаваемого в топку, и количество подаваемого первичного и вторичного воздуха.

В случае прямого управления технологическим процессом осуществляется непрерывное измерение постоянных параметров.

В случае непрямого управления технологическим процессом сначала определяется идеальный коэффициент избытка воздуха ( $\lambda$ ) для всех предполагаемых параметров процесса (нагрузки котла, влажности топлива и т.д.), позволяющего получить минимальные уровни выбросов, при этом значение  $\text{O}_2$  используется в качестве параметра технологического контроля.

Третье направление – оптимальная система очистки топочного газа предназначена для удаления компонентов выбросов из топочного газа после его выхода из теплоустановки и состоит из одного или нескольких устройств: осадительных камер, циклонов, мультициклонов, электростатических фильтров, мешочных фильтров, скрубберов, ротационных сепараторов частиц. Факторы, определяющие применение того или иного устройства, – это размер частиц, требуемая степень улавливания, интенсивность потока газа, периодичность очистки, характеристики частиц и присутствие смол в топочном газе.

Четвертым направлением является утилизация тепла из топочного газа методом конденсации топочного газа. Этот процесс обладает высоким потенциалом утилизации тепла (до 20% от используемой энергии топливной биомассы), а также обеспечивает высокую степень осаждения пыли (40-75%). Обычно устройства конденсации топочного газа, применяемые в странах Западной Европы, состоят из трех компонентов: экономайзера, утилизирующего теплоту из топочного газа, конденсатора, утилизирующего теплоту, выделяемую при конденсации влаги топочного газа, и подогревателя воздуха, подогревающего первичный и вторичный воздух, по-

даваемый в камеру сжигания и в камеру дожига. Количество теплоты, которое может быть утилизировано из топочного газа, зависит от влажности местных видов топлива, количества избыточного кислорода в топочном газе и температуры оборотной воды в трубопроводе. Следовательно, потенциал утилизации энергии в значительной степени зависит от качества теплообменников, конструкции гидравлических систем и характеристик управления технологическим процессом, которые определяют температуру оборотной воды. Применение устройств конденсации топочного газа представляет интерес при использовании биомассы влажностью 40-55%, температуре оборотной воды менее 60°C и номинальной мощности котлоагрегата более 2МВт.

Одним из наиболее важных аспектов эксплуатации установок на биомассе большой мощности являются также проблемы, связанные с использованием низкокачественной дешевой топливной биомассы, которая часто приводит к образованию отложений и коррозии теплообменников и пароперегревателей, и дополнительным выбросам, вызываемым более высоким содержанием в топливной биомассе азота, серы, хлора, фтора, калия и натрия, по сравнению с древесиной

В Республике Беларусь снижению выбросов от печного и отопительного оборудования, работающего на местных видах топлива, не уделяется достаточного внимания. В подавляющем большинстве котельных не применяются контролирующие приборы, не внедрены автоматизированные системы управления технологическими режимами сжигания топлива и, как следствие этого, отсутствует система автоматического мониторинга выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

#### Выводы

1. Для снижения выбросов вредных веществ в атмосферу, а также повышения КПД установок в стадии подготовки местных видов топлива для сжигания необходимо использовать подсушку биомассы. Для этих целей экономически оправданным является использование солнечных воздушных коллекторов, тепловых насосов, установок конденсации топочного газа, использующих возобновляемые источники энергии для подогрева воздуха и создания микроклимата в сушильном отделении. Подсушка топлива со снижением влажности с 50 до 30% (весовых) позволит повысить КПД установки до 10%.

2. Выбор конструкции оборудования и технологии сжигания местных видов топлива должен позво-

лить создать стабильный газогенераторный режим для получения температуры дымогарных газов в пределах 1000-1100 °С, который позволяет осуществить полное сгорание топлива и обеспечить минимальный уровень выбросов вредных веществ в атмосферу.

3. Применение эффективных методов управления технологическими процессами позволяет минимизировать уровень выбросов и оптимизировать тепловой КПД. Разработаны различные методы управления процессом сжигания топлива. Эти методы могут основываться на измерениях параметров определенных соединений топочного газа или значений температуры, данные о которых передаются на контроллер процесса горения в объеме, необходимом для регулировки процесса горения, посредством изменения количества и распределения воздуха, подаваемого в топочную камеру.

4. Эффективной мерой по повышению КПД установки и снижению выбросов вредных веществ является снижение содержания избыточного кислорода в топочном газе. Для управления этим процессом рекомендуется устанавливать датчики кислорода и СО в потоке топочного газа на выходе из котла с целью оптимизации подачи вторичного воздуха (контроль СО-λ), а также предусмотреть повышение качества смешения топочного газа с воздухом топки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии и местных видов топлива: материалы теплоэнергетической компании «ТЕСО-лтд». – Петрозаводск, 2005. – С. 11.

2. Котлы на биотопливе. НПП «Белкотломаш». – Витебск, 2006. – С. 8.

3. Handbook of Biomass Combustion and Co-firing. Prepared by Task 32 of the Implementing Agreement on Bioenergy under the auspices of the International Energy Agency. Eds. Sjaak van Loo and Jaap Koppejan, TNO-MEP, Apeldoorn (The Netherlands). ISBN 9036517737. First edition 2002). –P. 67.

4. Ingwald Obernberger and Gerold Thek, Techno-Economic evaluation of selected decentralised CHP plants based on biomass combustion in IEA partner countries. Final report., BIOS, Graz (Австрия), March, 2004. – P. 89.

5. Wood for Energy Production: Technology - Environment - Economy. Prepared by the Centre for Biomass Technology on behalf of the Danish Energy Agency. Ed. Helle Serup, Danish Forest and Landscape Research Institute, Hørsholm (Denmark). ISBN: 87-90074-28-9.2002. Second Revised Edition, 2002. – P. 132.